

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Азиз Х., Сеттари Э. *Математическое моделирование пластовых систем*. – М.: Недра, 1982. – 407 с.
2. Басниев К. С., Власов А. М., Кочипа И. Н. *Подземная гидравлика*. – М.: Недра, 1986. – 303 с.
3. Самарский А. А. *Теория разностных схем*. – М.: Наука, 1977. – 611 с.
4. Чекалюк Э. Б. *Термодинамика нефтяного пласта*. – М.: Недра, 1965. – 238 с.

Е. Г. Глазова, А. В. Кочетков, И. А. Ходыкина

Нижегородский национальный исследовательский

университет им. Н. И. Лобачевского,

hodykinaipna@gmail.com

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНЫХ УДАРНЫХ
ВОЛН С ПРОНИЦАЕМОМИ ПРЕГРАДАМИ**

Методами численного моделирования исследуются процессы прохождения ударной волны через насыпные газопроницаемые слои металлических шариков. Анализируются основные параметры проходящих и отраженных ударных волн: давление, плотность, скорость, температура. Выявляются наиболее значимые факторы, определяющие эти процессы, – вязкость газа, теплообмен между газом и металлом, плотность упаковки шариков.

Вводится декартова система координат $Oxyz$, ось Oz которой направлена перпендикулярно расположенному на твердой поверхности насыпному слою толщиной H . В направлениях

осей Ox и Oz слой предполагается неограниченным. Начало координат располагается на "свободной поверхности" насыпного слоя, т. е. на плоскости, параллельной плоскости под слоем шариков $z = -H$, на которую опирается слой. В процессе расчета полагается, что шарики неподвижны и H не изменяется. Вдоль оси Oz выделяется элементарный канал квадратного сечения $r \cdot r$, где r – радиус шариков. Параметры в набегающей плоской ударной волне задаются в области $0 < z < L$. Расстояние L выбирается из таких соображений, чтобы в процессе моделирования отраженная от слоя ударная волна не искажала условия на искусственно поставленной границе $z = L$ в интервал времени, когда параметры отраженной от твердой стенки волны достигают квазистационарного значения. Геометрические размеры и параметры ударной волны выбраны в соответствии с условиями проведения экспериментов [1], где размеры соответствуют объемной концентрации шариков $\alpha_2 = 0.61$. В зависимости от расположения шариков объемная концентрация может иметь различные значения $0.52 \leq \alpha_2 \leq 0.74$.

При воздействии ударной волны на слой шариков происходит отражение ударной волны, распространяющейся в обратном направлении по отношению к падающей волне. Внутри слоя по поровому газу распространяются волны сжатия, воздух обтекает каждый шарик как жесткое неподвижное тело. Внутреннее течение является весьма сложным. Его параметры определяют процессы многократного отражения волн и взаимодействия с турбулентными образованиями за шариками. В результате этих взаимодействий происходит относительно медленное нарастание давления на жесткую стенку, на которой располагается слой.

Важное значение при взаимодействии ударной волны с гра-

пулированной средой играют процессы теплообмена между металлом и газом, вязкость среды, а также изменение объемной концентрации самих частиц под действием давления в проходящей ударной волне, что необходимо учитывать в расчетах. Соответствие численных и экспериментальных данных свидетельствует о достоверности используемой методики и результатов математического моделирования.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (проект № 09-08-00711), Программы поддержки ведущих научных школ России (проект № НШ-4807.2010.8) и Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы" (ГК № 16.740.11.0087).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ben-Dor G., Britan A., Elperin T., Igra O., Jiang J. P. *Mechanism of compressive stress formation during weak shock waves impact with granular materials* // Experiments in Fluids. – 1997. – V. 22. – P. 507–518.
2. Губайдулин А. А., Дудко Д. Н., Урманчеев С. Ф. *Моделирование взаимодействия воздушной ударной волны с пористым экраном* // ФГВ. – 2000. – Т. 36. – № 4. – С. 87–96.
3. Нигматуллин Р. И. *Динамика многофазных сред. Т. 1, 2.* – М: Наука, 1987.

А. А. Горшков

Нижегородский национальный исследовательский
университет им. Н. И. Лобачевского,
tiger-nn@mail.ru